

【注意】必要ならば、次の数値を用いること。

原子量：H 1, C 12, O 16, Na 23, Ca 40

ファラデー定数： 9.65×10^4 C/mol

また、問題文中の体積の単位記号 l は、リットルを表す。

1 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25%)

酸素は 族の典型元素であり、3種類の同位体が天然に存在する。酸素原子は 個の価電子をもつため、2 価の陰イオンである酸化物イオンを生成する。酸化物イオンの電子配置は希ガスの 原子のそれと同じである。アルカリ金属の 原子も 1 価の陽イオンになると 原子と同じ電子配置になるが、そのイオン半径は酸化物イオンよりも 。

酸素分子 O_2 には極性がない。二酸化炭素分子にも極性がないが、水分子には極性がある。また、水分子間には水素結合が生じ、これが分子間力に加わる。そのため、水は、ほぼ同じ分子量をもつメタンなどと比べて高い融点・沸点を示す。水素結合は、ある種の官能基をもつ有機化合物どうしの間にも生じる。たとえば、ヒドロキシ基(ヒドロキシル基)をもつメタノール分子どうしの間には分子間力に加えて水素結合も作用する。水素結合は異なる種類の分子の間にも生じる。メタノールを水に加えると、メタノール分子と水分子の間に水素結合が生じる。このようにしてメタノール分子は水和した状態で水中に分散するため、水によく溶ける。

問 1 文中の ~ に適切な語句または数字を記せ。

問 2 下線部(a)について、酸素の 3 種類の同位体は ^{16}O , ^{17}O , および ^{18}O である。これらの同位体原子それぞれ 1 個の質量 [g] を順に m_1 , m_2 , および m_3 とし、天然存在比(原子数の比) [%] を順に p_1 , p_2 , および p_3 とする。また、質量数 12 の炭素原子 1 個の質量 [g] を M とする。このとき、酸素の原子量を、 m_1 , m_2 , m_3 , p_1 , p_2 , p_3 , および M を用いて表せ。また、所定の欄にその求め方を記せ。

問 3 下線部(b)について、次の(1)と(2)に答えよ。

(1) 2 原子間の共有結合の極性の大小を判断するときにもっとも参考になるのは、次の①~⑤のどれか。一つ選び、その番号を記せ。

- | | | |
|-------|---------|--------|
| ① 電離度 | ② 電気陰性度 | ③ 価電子数 |
| ④ 質量数 | ⑤ 酸化数 | |

(2) 二酸化炭素分子が極性をもたない理由を 60 字以内で述べよ。

問 4 下線部(c)について、次の(1)~(3)に答えよ。

- (1) イオン結合を生じさせている力と同じ力が水素結合にもはたらいている。この力の名称を記せ。
- (2) 水が水蒸気になるときに吸収する熱量(蒸発熱)は、氷が水になるときに吸収する熱量(融解熱)よりもかなり大きい。水に限らず、一般に、物質の蒸発熱は融解熱よりも大きくなる。その理由を60字以内で述べよ。
- (3) 純粋な氷の結晶中の1個の水分子には4個の水分子が隣接し、それぞれ一つの水素結合によって互いに結ばれている。ここで、1 molの純粋な氷の結晶中に含まれるすべての水素結合を切断するのに必要なエネルギーを Q [kJ]とする。このとき、この結晶中の水素結合の結合エネルギー [kJ/mol] を Q を用いて表せ。また、所定の欄にその求め方を記せ。

問 5 下線部(d)について、室温における1-オクタノール $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{OH}$ の水に対する溶解度は、メタノールのそれと比べてどのようになるか。次の①~⑤から選び、その番号を記せ。また、そのように考えた理由を60字以内で述べよ。

- ① メタノールよりも水和しやすいため、メタノールより溶解度が高い。
- ② メタノールよりも水和しやすいため、メタノールより溶解度が低い。
- ③ メタノールと水和の程度が同じであるため、メタノールと同等の溶解度をもつ。
- ④ メタノールよりも水和しにくいいため、メタノールより溶解度が高い。
- ⑤ メタノールよりも水和しにくいいため、メタノールより溶解度が低い。

- 2 次の文章を読み、下の問いに答えよ。ただし、温度は 25℃ とし、モル濃度は $[H^+]$ 、 $[OH^-]$ のように表すものとする。(配点 25%)

アンモニア水では次のような電離平衡が成立する。



この反応の平衡定数 K は次の式で表される。

$$K = \boxed{\text{(A)}} \quad \text{②}$$

水の濃度 $[H_2O]$ は一定とみなせるので、アンモニアの電離定数 K_b を次のように定義できる。

$$K_b = K[H_2O] = \boxed{\text{(B)}} \quad \text{③}$$

アンモニアの電離度 α が 1 に比べて無視できるほど小さい場合、 α およびアンモニア水中の $[OH^-]$ は、 K_b と溶かしたアンモニアの濃度 C_b を用いて表すことができる。

水に溶かした酢酸ナトリウムはほぼ完全に電離する。このとき生成した酢酸イオンの一部は、次のように水と反応する。



このような反応を塩の $\boxed{\text{(ア)}}$ 分解という。式④の反応の平衡定数を K' とすると、式③と同様に定数 K_h を次のように定義できる。

$$K_h = K'[H_2O] = \boxed{\text{(C)}} \quad \text{⑤}$$

酢酸と酢酸ナトリウムの混合水溶液においても、式④の平衡と式⑤の関係が成立する。この混合水溶液は $\boxed{\text{(イ)}}$ 作用を示し、少量の酸や塩基を加えても溶液の pH はほぼ一定に保たれる。

問 1 文中の $\boxed{\text{(A)}}$ ~ $\boxed{\text{(C)}}$ に入る式を、関係する分子あるいはイオンのモル濃度を用いて記せ。

問 2 文中の $\boxed{\text{(ア)}}$ および $\boxed{\text{(イ)}}$ に適切な語句を記せ。

問 3 下線部(a)の α および $[\text{OH}^-]$ を、 K_b と C_b を用いて表せ。また、所定の欄にその求め方を記せ。

問 4 下線部(b)について、次の(1)~(4)に答えよ。ただし、混合水溶液中に溶けている酢酸と酢酸ナトリウムの濃度は、いずれも $1.00 \times 10^{-2} \text{ mol/l}$ である。また、 K_a は $4.0 \times 10^{-5} \text{ mol/l}$ 、水のイオン積 K_w は $1.0 \times 10^{-14} (\text{mol/l})^2$ とする。

- (1) この混合水溶液の $[\text{H}^+]$ を有効数字 2 桁で求めよ。また、所定の欄に計算過程を示せ。ただし、酢酸の電離度は 1 に比べて無視できるほど小さいものとする。
- (2) この混合水溶液に少量の水酸化ナトリウムを加えたときに起こる変化を化学反応式で記せ。
- (3) この混合水溶液 1.00 l に $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol}$ の水酸化ナトリウムを加えた。このとき、水溶液中の $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ および $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ の値はいくらになるか。なお、水酸化ナトリウムを加えたことによる水溶液の体積変化は、無視できるものとする。
- (4) 設問(3)の操作により、この混合水溶液の $[\text{H}^+]$ は何倍に変化するか有効数字 2 桁で答えよ。また、所定の欄に計算過程を示せ。

3 次の文章を読み、下の問いに答えよ。(配点 25 %)

カルシウムは、石灰石や大理石などの成分元素として地殻中に存在し、地殻を構成する成分の質量パーセントでは5番目に多い元素である。天然には単体のカルシウムは存在しない。酸化カルシウムにコークス(炭素)を混ぜて強熱しても単体のカルシウムは得られず、炭素との化合物が生じる。単体のカルシウムは融解塩電解(熔融塩電解)によって得られる。カルシウムは空気中の酸素や常温の水と反応して化合物を生じる。また、高温で気体の水素とも反応して水素化カルシウム CaH_2 を生じる。

人類は古代から現在に至るまで、さまざまなカルシウムの化合物を利用している。大理石は建築材料として、石灰石はセメントやソーダ石灰ガラスを製造するための原料として用いられる。農業では、水酸化カルシウムは酸性土壌の中和剤として、リン酸二水素カルシウムはリン酸肥料の成分として利用される。塩化カルシウムは道路などの融雪剤や凍結防止剤として用いられ、塩化カルシウムを散布すると濡れた路面は凍りにくくなる。また、酸化カルシウムは生石灰ともよばれ、生石灰が水に溶けるときの発熱を利用して、温められる駅弁などが市販されている。

カルシウムの化合物は実験室でも利用されている。生石灰や塩化カルシウムは乾燥剤として用いられる。また、さまざまな気体を発生させるためにカルシウムの化合物が用いられる。

問 1 下線部(a)の反応を化学反応式で記せ。

問 2 カルシウム塩の水溶液を電気分解したとき、陰極で単体のカルシウムが得られない理由を50字以内で述べよ。

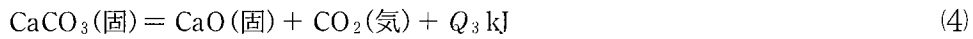
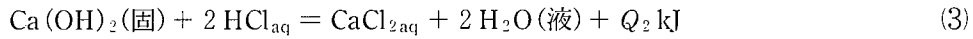
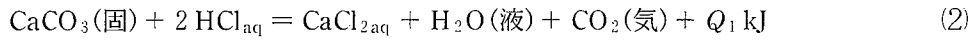
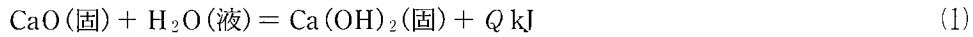
問 3 十分な量の塩化カルシウムの融解塩電解を、5.0 A の電流を32分10秒間流して行った。単体のカルシウムは何g得られたか。所定の欄に計算過程を示し、有効数字2桁で答えよ。ただし、流した電流はすべて電解に使われたものとする。

問 4 水素化カルシウム中の水素の酸化数を記せ。

問 5 リン酸二水素カルシウムはリン酸カルシウムと硫酸との反応で得られる。この反応を化学反応式で記せ。

問 6 下線部(b)について、塩化カルシウムを散布すると凍りにくくなる理由を40字以内で述べよ。

問 7 下線部(c)について、生石灰を水に溶解したときの反応熱 Q は次の熱化学方程式(1)で表される。反応熱 Q を、次の熱化学方程式(2)~(4)の Q_1 、 Q_2 、 Q_3 を用いて表せ。なお、(1)~(4)は温度や圧力などが同じ条件のもとでの反応とする。



問 8 下線部(d)について、気体が発生する次の反応(1)~(3)を化学反応式で記せ。

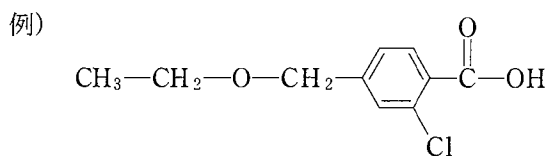
(1) 水酸化カルシウムと塩化アンモニウムを反応させる。

(2) ホタル石(フッ化カルシウム)と濃硫酸を反応させる。

(3) さらし粉 $\text{CaCl}(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ と濃塩酸を反応させる。

問 9 酸化カルシウムと水酸化ナトリウムの混合物がある。この混合物 6.0 g は、3.0 mol/l の塩酸 70 ml で過不足なく中和した。この混合物に含まれる酸化カルシウムは何 g か。所定の欄に計算過程を示し、有効数字 2 桁で答えよ。

- 4 下の問いに答えよ。構造式は次の例にならって記せ。なお、光学異性体などの立体異性体を区別して記す必要はない。(配点 25%)



問 1 次の文章(a)~(e)を読み、有機化合物 A~E の名称および構造式を記せ。

- (a) 酢酸に十酸化四リンを作用させて有機化合物 Aを得た。
 (b) リン酸を触媒とし、エチレン(エテン)に水を作用させて有機化合物 Bを得た。
 (c) アセチレン(エチン)に十分な量の臭素を作用させて有機化合物 Cを得た。
 (d) ニッケルを触媒とし、ベンゼンに水素を作用させて有機化合物 Dを得た。
 (e) 塩化アルミニウムを触媒とし、ベンゼンにプロピレン(プロペン)を作用させて有機化合物 Eを得た。

問 2 次の文章を読み、下の問い(1)~(4)に答えよ。

1 価のカルボン酸(F)と 1 価のアルコール(G)から合成された炭素、水素、酸素からなるエステルがある。このエステル 0.356 g を水酸化ナトリウム水溶液で完全に加水分解すると、0.148 g のアルコール(G)が得られる。

なお、カルボン酸(F) 0.183 g をある量の水に溶かし、この溶液全量を 0.100 mol/l の水酸化ナトリウム水溶液で中和したところ、15.0 ml を要した。一方、アルコール(G)の構成元素の質量組成は炭素 64.9%、水素 13.5%、酸素 21.6%であった。また、硫酸酸性下において、アルコール(G)は二クロム酸カリウムによって酸化された。得られた酸化物はフェー
 (a) リング液を還元せず、ヨードホルム反応を示した。

- (1) カルボン酸(F)の分子量を求めよ。また、所定の欄に計算過程を示せ。
 (2) アルコール(G)の分子量および分子式を求め、その構造式を記せ。また、所定の欄に分子量および分子式の求め方を記せ。
 (3) 下線部(a)において、得られた酸化物とは何か。この酸化物の構造式を記せ。
 (4) アルコール(G)の構造異性体であり、二クロム酸カリウムでは酸化されにくいアルコールの構造式を記せ。

問題訂正

さくらの個別指導(さくら教育研究所)

記号 R2

科目 理科 (化学)

訂正箇所

2

ページ

1

(誤) 問4(3) このとき、この結晶中の水素結合の結合エネルギー

(正) 問4(3) このとき、この結晶中の水素結合 1 mol あたり の結合エネルギー

問題訂正

記号 R2

科目 理科 (化学)

訂正箇所

7

ページ

4

(誤) 問1(e) 塩化アルミニウム を触媒とし、

(正) 問1(e) リン酸 を触媒とし、